



(19) RU (11) 2010672 (13) C1
(51) 5 B 22 D 27/04

Комитет Российской Федерации
по патентам и товарным знакам

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ к патенту Российской Федерации

1

(21) 4911427/02
(22) 15.02.91
(48) 15.04.94 Бюл. № 7
(71) Научно-производственное объединение "Всероссийский институт авиационных материалов"
(72) Шагин Р.Е.; Гамратов В.А.; Герасимов В.В.; Пучков Е.Н.; Король В.А.
(73) Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов
(54) СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ОТЛИВКОВ
(57) Использование: в металлургии, а именно в области литья монокристаллических турбинных лопаток заданной кристаллографической ориентации из жаропрочных сплавов, преимущественно от тугоплавких затравок для повышения выхода годного по структуре, снижения энергозатрат, повышения надежности и времени эксплуатации литейного оборудования. Сущность изобретения: способ включает нагрев формы с затравкой с размещением их в

2

постоянном по высоте температурном поле в области температур выше температуры ликвидус жаропрочного сплава, но ниже температуры ликвидус сплава затравки, заполнение формы расплавом, перемещение формы первоначально со скоростью 20 - 1000 мм/мин в области постоянного и части переменного тепловых полей до положения затравки не ниже уровня изотермы ликвидус жаропрочного сплава. Дальнейшее перемещение и последующее погружение в жидкометаллической охладитель осуществляют со скоростью, обеспечивающей положение фронта кристаллизации над уровнем охладителя. Способ обеспечивает выход годного по структуре 90%, снижает рабочие температуры нагревателей на 100 - 160°C, повышает в 3 - 5 раз срок эксплуатации нагревателей, экранов, систем контроля температур и установки в целом. Потребляемая мощность нагревателей снижается на 30%, повышается надежность работы керамических форм и стержней. 1 ил, 1 табл.

RU 2010672 C1



Изобретение относится к металлургии и может быть использовано при литье монокристаллических турбинных лопаток заданной кристаллографической ориентации из жаропрочных сплавов.

Известны способы получения монокристаллических отливок заданной ориентации, включающие нагрев керамической формы, заполнение формы расплавом и направленную кристаллизацию отливки от металлической затравки путем опускания формы с расплавом из зоны нагрева в зону охлаждения, в том числе в жидкометаллический охладитель (патент США № 3857436, кл. 164/60, приоритет СССР, № 3763926, кл. авт. св. СССР № 1330838, 839153, 863171 и др.).

Наиболее близким к заявляемому является способ получения монокристаллических отливок из жаропрочных сплавов, изложенный в патенте США № 3915761, кл. 148-32, 1975.

Способ включает нагрев формы, укрепленной на плите, находящейся на поверхности жидкометаллического охладителя выше температуры ликвидус жаропрочного сплава за исключением ее части, непосредственно примыкающей к плите и размещением затравки в углублении плиты, заполнение формы расплавом и погружение в жидкометаллический охладитель со скоростью, обеспечивающей положение фронта кристаллизации над уровнем охладителя. Таким образом, при нагреве форма с затравкой находится в переменном по высоте температурном поле с обеспечением температуры на затравке и ниже температуры ликвидус сплава затравки и избежание ее полного расплавления и невозможности передачи монокристаллической структуры.

Недостатком указанных способов, в том числе и прототипа, является невысокий выход годного по монокристалльности из-за неадекватности обеспечения требуемой температуры затравки, расположенной в охлаждаемой плите. При этом указанный способ требует большой до 260°C разницы температур в рабочей части полости формы и температуры затравки, что вызвано необходимостью сохранения затравки и подавления посторонних кристаллов на отливках. В этом случае (согласно прототипу) форма нагрета до 1565°C, а следовательно, температура нагревателя должна быть на 100°C выше и составлять 1665°C. Это связано с повышенным расходом электроэнергии и снижением надежности работы керамических форм, стержней и литейного оборудования в целом.

В отечественной практике литья монокристаллов заданной кристаллографической ориентации широко используются тугоплавкие затравки (например, из сплавов системы Ni-W).

Цель изобретения - повышение выхода годного по структуре, снижение энергозатрат, повышение надежности и времени эксплуатации литейного оборудования.

Цель достигается тем, что в способе получения монокристаллических отливок из жаропрочных сплавов направленной кристаллизацией расплава, преимущественно с использованием тугоплавких затравок, включающем размещение формы с затравкой в нагревателе, имеющем участки с постоянным, в средней части и переменным, у торцов, температурными полями, нагрев формы выше температуры ликвидус жаропрочного сплава с расположением затравки в области температур ниже температуры ликвидус сплава затравки, заполнение формы расплавом и погружение в жидкометаллический охладитель со скоростью, обеспечивающей положение фронта кристаллизации над уровнем охладителя. Согласно предложенному изобретению, форму с затравкой при нагреве располагают в области постоянного по высоте теплового поля в указанном интервале, а после заполнения формы расплавом до погружения в охладитель ее первоначально перемещают со скоростью 20-1000 мм/мин в области постоянного и части переменного по высоте тепловых полей до положения затравки не ниже уровня соответствующего изотермического ликвидус жаропрочного сплава, а дальнейшее перемещение осуществляют со скоростью погружения.

Отличительные признаки предложенного способа существенно отличают его от прототипа и других известных технических решений. Нагрев формы с затравкой осуществляют в зоне нагревателя с постоянным по высоте температурным полем, т.е. в зоне, не чувствительной к торцевым теплоточным. Это позволяет обеспечить равномерный нагрев затравки и рабочих полостей, форм отливок при существенно меньших значениях температуры нагревателя по сравнению с прототипом температуры нагревателя снижена на 100 - 150°C. Перемещение залитой расплавом формы из зоны нагрева с постоянным по высоте температурным полем вплоть до положения затравки на уровне изотермического ликвидус жаропрочного сплава со скоростью в указанных пределах подготавливает расплав к направленной кристаллизации с оптимальным размером структурных составляющих

сплава. При более низких скоростях перемещения наблюдается огрубление структуры. Верхний предел скорости (1000 мм/мин) связан с большой инерционностью существующих систем перемещения, не обеспечивающих необходимую точность попадания в заданную точку теплового поля. Дальнейшее перемещение от указанного уровня со скоростью погружения, т.е. со скоростью, обеспечивающей положение фронта кристаллизации над уровнем охладителя, обеспечивает начальный этап кристаллизации, стабилизируя условия зарождения и роста монокристалла от затравки без образования паразитных зерен.

Такая организация процесса в целом и обеспечивает получение монокристаллических отливок с высоким выходом годного, снижение энергозатрат, повышение надежности процесса и времени эксплуатации оборудования.

П р и м е р. Предлагаемый способ осуществляется на установке УВНК-8П, принципиальная схема которой представлена на чертеже.

Устройство содержит верхнюю зону нагревателя 1, нижнюю зону нагревателя, жидкометаллический охладитель 3, литейную форму 4, затравку 5.

Тепловой зазор (Н) между охладителем и срезом нагревателя составляет 70 ± 5 мм. В качестве охладителя использовали алюминий марки А99 с температурой $680-760^\circ\text{C}$. Получали монокристаллические отливки из жаропрочного сплава ЖС 32 с температурой ликвидус 1390°C .

Для обеспечения заданной ориентации использовали затравки из сплава Ni-W с содержанием вольфрама 30 - 32%, диаметром 6-8 мм и высотой 2-3 мм. Температура ликвидус сплава затравки 1520°C .

Процесс осуществлялся следующим образом. Два керамических блока по шесть лопаток в каждом с помощью молибденографитовой подвески закрепляли на каретке, с помощью приводов горизонтального перемещения каретку с формами передавали в рабочую камеру на направляющую, связанную с приводом вертикального перемещения. При этом в рабочей камере был создан вакуум $1 \cdot 10^{-3}$ мм рт.ст. После закрытия торцевой крышки нагревателя формы оказывались внутри графитового нагревателя, как указано на схеме (условно показана только одна лопатка).

Исходное положение формы в нагревателе было на 60-100 мм выше нулевой отметки, за которую условно принят уровень нижнего среза нижнего нагревателя. В этом положении форму нагревали до температу-

ры на $100 \pm 20^\circ\text{C}$ выше температуры ликвидус жаропрочного сплава, но на $5-30^\circ\text{C}$ ниже температуры ликвидус сплава затравки, т.е. температура формы с затравкой составляла $1460, 1480^\circ\text{C}$. При этом температура верхней зоны нагревателя была равна температуре нижней зоны и составляла соответственно $1480, 1500^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$.

Нагрев осуществляли со скоростью 30 - $50^\circ\text{C}/\text{мин}$. После стабилизации температур нагревателей и формы, расплавляли жаропрочный сплав в плавильном тигле индукционной печи (на схеме не показан) и заливали его в форму при температуре 1580°C с учетом снижения температуры металла во время заливки. После заливки жаропрочного сплава.

Формы опускали с помощью привода вертикального перемещения с первой (маршевой) скоростью в области постоянного и затем переменного поля до положения затравки, соответствующего уровню изотермы ликвидус сплава (1370°C). Далее перемещение и погружение осуществляли с рабочей скоростью 10 мм/мин.

После полного погружения отливок в охладитель нагреватели выключали и при снижении температуры в печи подогрева форм до 1250°C формы с отливками на маршевой скорости извлекали из охладителя и перемещали их в шлюзовую камеру, из которой формы с отливками при перекрытии внутреннего затвора и открытии наружного передавались на погрузочно-разгрузочный стол установки. Далее процесс повторялся.

На той же установке получали отливки с использованием способа по прототипу.

Результаты экспериментов приведены в таблице.

Результаты испытаний показывают, что предложенный способ имеет следующие преимущества:

обеспечивает высокий выход годного 90% по сравнению с 67% по прототипу;

снижение рабочих температур нагревателей на $100 - 160^\circ\text{C}$, что в 3 - 5 раз повышает срок эксплуатации нагревателей, экранов, систем контроля температур и установки в целом;

потребляемая мощность нагревателей снижается на 30%;

снижается взаимодействие расплавленной формы, что повышает качество отливок и снижает трудоемкость их последующей обработки;

повышается надежность работы керамических форм и стержней, что снижает брак по нарушению геометрии и исключает

"пробои" форм с потерей дорогостоящего сплава.

Брак по разрушению форм по сравнению с прототипом сократился на 10%. Брак по геометрии лопаток, определяемый формустойкостью керамического стержня, сократился с 9-12% до 2-3%.

Предлагаемый способ позволяет получать детали заданной кристаллографической ориентации, микроструктура которых характеризуется параметрами: расстояние между осями дендритов первого порядка 130 - 300 мкм, расстояние между осями де-

ндритов второго порядка 20 - 40 мкм, средний размер островков эвтектик 10 - 30 мкм, размер МС карбидов 10 - 30 мкм.

По оптимальному режиму на заводе отрасли на установке УВНК-8П было проведено 23 плавки, отлито 276 лопаток, из которых брак по структуре после травления выявлен только на 6 лопатках, т.е. выход годного по макроструктуре составил 94%.

(56) Патент США № 3915761, кл. 148-32, 1975.

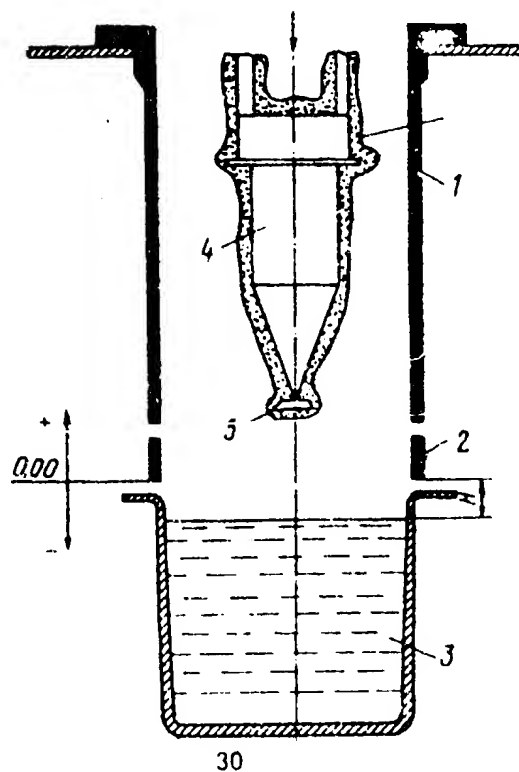
Пример	Температура нагревателя, °C	Температура формы, °C	Положение формы в нагревателе, мм	Градиент температур, град/см	Вытечка		Скорость погружения, мм/мин	Выход годного по монокристаллическости, %	Примечание
					Скорость, мм/мин	температура, °C			
					I	II	на уровне положения затравки при переходе с I на II скорости		
Прототип									
1	1880	1580	0	280			10	67	
Параметры заявляемого способа									
2	1500	1480	+25	5	80	10	1370	10	72
3	1480	1480	+25	0	80	10	1370	10	84
4	1500	1480	+100	0	20	10	1370	10	92
5	1500	1480	+100	0	1000	10	1370	10	91
6	1500	1480	+100	0	80	10	1480	10	93
Запредельные параметры заявляемого способа									
7	1500	1480	+100	0	80	10	1250	10	86
8	1500	1480	+100	0	10	10	1370	10	92
9	1480	1480	+50	0	1200	10	1150	10	54

Формула изобретения

СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ОТЛИВОК из жаропрочных сплавов направленной кристаллизацией расплава преимущественно с использованием тугоплавких затравок, включающий размещение формы с затравкой в нагревателе, имеющем участки с постоянным в средней части и с переменным у торцов температурными полями, нагрев формы выше температуры ликвидуса жаропрочного сплава с расположением затравки в области температур ниже температуры ликвидуса сплава затравки, заполнение формы расплавом и погружение в жидкометаллический охладитель со скоростью, обеспечивающей положение

фронта кристаллизации над уровнем охладителя, отличающийся тем, что, с целью повышения выхода годного по структуре, снижения энергозатрат, повышения надежности и времени эксплуатации литейного оборудования, форму с затравкой при нагреве располагают в области постоянного по высоте теплового поля в указанном интервале температур, после заполнения формы расплавом до погружения в охладитель ее перемещают сначала со скоростью 2,0 - 1000 мм/мин в области постоянного и части переменного по высоте температурных полей до положения затравки не ниже уровня, соответствующего изотерме ликвидуса жаропрочного сплава, а дальнейшее перемещение осуществляют со скоростью погружения.

2010672



Редактор Н.Сильягина
Заказ 135
Составитель В.Герасимов
Техред М.Моргентал
Корректор М. Ткач
Тираж
НПО "Поиск" Роспатента
113035, Москва, Ж-35, Раушская наб., 4/5
Подписное
Производственно-издательский комбинат "Патент", г. Ужгород